

小麦稈の N 分画・化学組成およびメン羊 による消化性と採食性に与える無水 アンモニア処理の効果

熊瀬 登*・鈴木昌宏**・趙 景陽**・藤田 裕**

(受理: 1984年5月31日)

Effects of Anhydrous Ammonia Treatment on Nitrogen Distribution, Chemical Composition, Nutritive Value, and Intake of Wheat Straw by Sheep

Noboru KUMASE*, Masahiro SUZUKI**, Jing Yang ZHAO** and Hiroshi FUJITA**

摘 要

麦稈小型梱包 154 個 (Ex. 1) と 227 個 (Ex. 2) に加水処理した後、無水アンモニアを DM 当り約 3% (Ex. 1) と 3.2% (Ex. 2) 注入処理し、1 か月間常温で密封貯蔵した。処理後スタックの上段褐色部・内部・底部梱包からの採取試料における N 分画と化学組成の調査と (Ex. 1)、貯蔵期間中のスタック内温度変化を測定した (Ex. 2)。処理麦稈と無処理麦稈の消化性・N 蓄積を比較検討するために、各麦稈に対し乾草を DM で等量混合した飼料を用いメン羊による飼養試験を実施した (Ex. 2)。両麦稈の採食性比較試験を乾草の制限給与としながら、メン羊を麦稈馴致群と未馴致群に分け実施した (Ex. 2)。アンモニア注入と同時にスタック内温度はアンモニアと水分との反応熱により急上昇し最高 57°C に達したが、注入 80 時間後には外気温より 10°C 高い程度に納まった。アンモニア処理により麦稈 N 量は 0.97~1.63 % 増加し、増加 N 量の内 $\text{NH}_3\text{-N}$ が 60%、アミド-N が 9~12% を占めた。NDF-N・ADF-N がアンモニア処理により増加し、NDF とヘミセルロース含量は減少した。N 回収率は約 60% (Ex. 1) と 37% (Ex. 2) となった。処理麦稈混合区 (Tr 区) では DM・CP・NDF 消化率が無処理麦稈混合区 (Co 区) 1.4 倍増加し、有機物・粗繊維・ADF・エネルギー消化率は 1.3 倍増加した。N 蓄積量は Tr 区が Co 区より多かった。麦稈摂取量は処理麦稈の方が無処理麦稈より多く、さらに麦稈馴致メン羊は未馴致メン羊より 50% 多く処理麦稈を摂取した。これらのことから、大規模スタックに対しアンモニア処理を施してもアンモニアガスは万遍なくスタック内に拡散し、麦稈の飼料価値が改善されることが確認された。アンモニア処理麦稈

* 帯広畜産大学 別科 (草地畜産専修)

Two-year Course in Grassland Farming, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, Japan. 080

** 帯広畜産大学 家畜生産科学科家畜栄養学教室

Laboratory of Animal Nutrition, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido, Jpn. 080.

は、常用される粗飼料の一部を充分代替しうると考えられる。

本 文

国内小麦の積極的な生産振興政策が昭和49年に打ち出されるとともに、栽培技術の向上さらには高能率機械化体系の確立とが相まって、北海道の小麦生産は急速に増加してきた。昭和58年の全道生産量は天候不順により減少したものの、その前年は36万8000tを生産し全国の50%を占めるに至った¹⁾。一方、小麦の穀実収穫後には大量の麦稈が農場残渣物として生じるが、農家ではこの麦稈を家畜の敷料として用いるか畑へ直接還元する場合が多く、乳牛・肉牛の飼料給与体系の中に組み入れているところはまれである。これは麦稈が栄養価や嗜好性の劣る²⁾ 低質粗飼料として位置づけられているためである。しかしアンモニアによるアルカリ処理を麦稈に加えた際には、これらの欠点が改善されると同時に粗蛋白含量の増加をもたらしことが報告されている³⁾。そのため未利用資源の有効利用方法の一つとしてアンモニア処理麦稈が内外で注目されてきているが、我が国では大規模にアンモニア処理を実施した報告が少ない。そこで本研究は、大規模な小麦稈スタックに無水アンモニア処理を施し、処理麦稈のN分画と化学組成の調査ならびにメン羊による消化性・N蓄積量および採食性を調べ、アンモニア処理麦稈の飼料価値を検討した。

実 験 方 法

〔実験1〕 供試材料に平均11.5kg重、水分約13%の小麦稈梱包を154個用い、これに加水処理を施したうえでアンモニア処理を実施した。アンモニア注入率は乾物当り約3%とし、処理麦稈のN分画と化学組成を調べた。

アンモニア処理方法：SUNDSTØLら³⁾の方法の变法によりアンモニア処理を行った。まず、地面に注入するアンモニアの受け皿として長い溝を掘ったのちビニールシート(グランドシート)を敷き、この上に丸太あるいはスノコ板をのせ梱包を積み上げた。堆積後は0.1mm厚のビニールシート2枚(カバーシート)でスタックを包み込んだ。さらにグランドシートとカバーシートのすそを垂木に巻きつけ、この上に土袋の重しをのせてスタックを完全密封した。アンモニアはスタック下の溝に予め挿入しておいたホースを通じ、アン

モニアポンプを逆さに転倒させて液状で注入した。32日間にわたりスタックを密封した。

試料採取法：無水アンモニアのスタック内での気化拡散状況を推察するために、開封2~3日後にスタックの3部位から試料を採取し、N分画と化学組成を調べた。3部位とは、上段梱包の濃褐色部である「上段褐色部」、アンモニア注入に際し激しくガスに曝されたと思われる最下段梱包の「底部」、さらに中間段梱包の各所から採取しスタックのほぼ代表値を示すと考えられる「内部」とした。化学組成は常法により求め、全N(TN)はケルダール法、蛋白態N(PN)はトリクロロ酢酸法⁴⁾、アンモニア態N(AN)とアマイド態N(AmN)はWANGら⁵⁾の水蒸気蒸留法により求めた。

〔実験2〕 平均12.7kg重、水分11.0%の麦稈梱包227個と麦稈以外の梱包53個を用い、加水処理したうえでアンモニアを乾物当り3.2%注入した。さらに処理麦稈と無処理麦稈を供試飼料として消化試験・N出納試験および採食性試験を実施した。アンモニア処理方法は実験1と同一方法とし、スタックの密封期間を33日とした。

温度測定：アンモニア注入時からシート開封時までのスタック内温度を連続的に測定した。測定部位は、最下段梱包上部においてはスタックの北側・中央部・南側の3か所とし、さらに下から3段目および5段目梱包上部における各段中央部の計5か所とした。

消化試験・N出納試験：メン羊2頭を供試動物とした。処理区にはアンモニア処理麦稈を、無処理区には無処理麦稈を給与し、両区ともチモシー主体混播乾草を乾物量が麦稈と等しくなるように給与した。試験は予備期7日間、本試験期5日間とし、2反転行った。

採食性試験：上述の飼養試験を終えたメン羊2頭を麦稈馴致群とし、麦稈の摂取経験のないメン羊2頭を麦稈未馴致群として採食性試験を実施した。両群ともに消化試験に用いた乾草を原物で1日1頭当り750gの制限給与とし、処理麦稈と無処理麦稈の採食量をカフェテリア法により測定した。試験期間は馴致群3日、未馴致群4日とした。

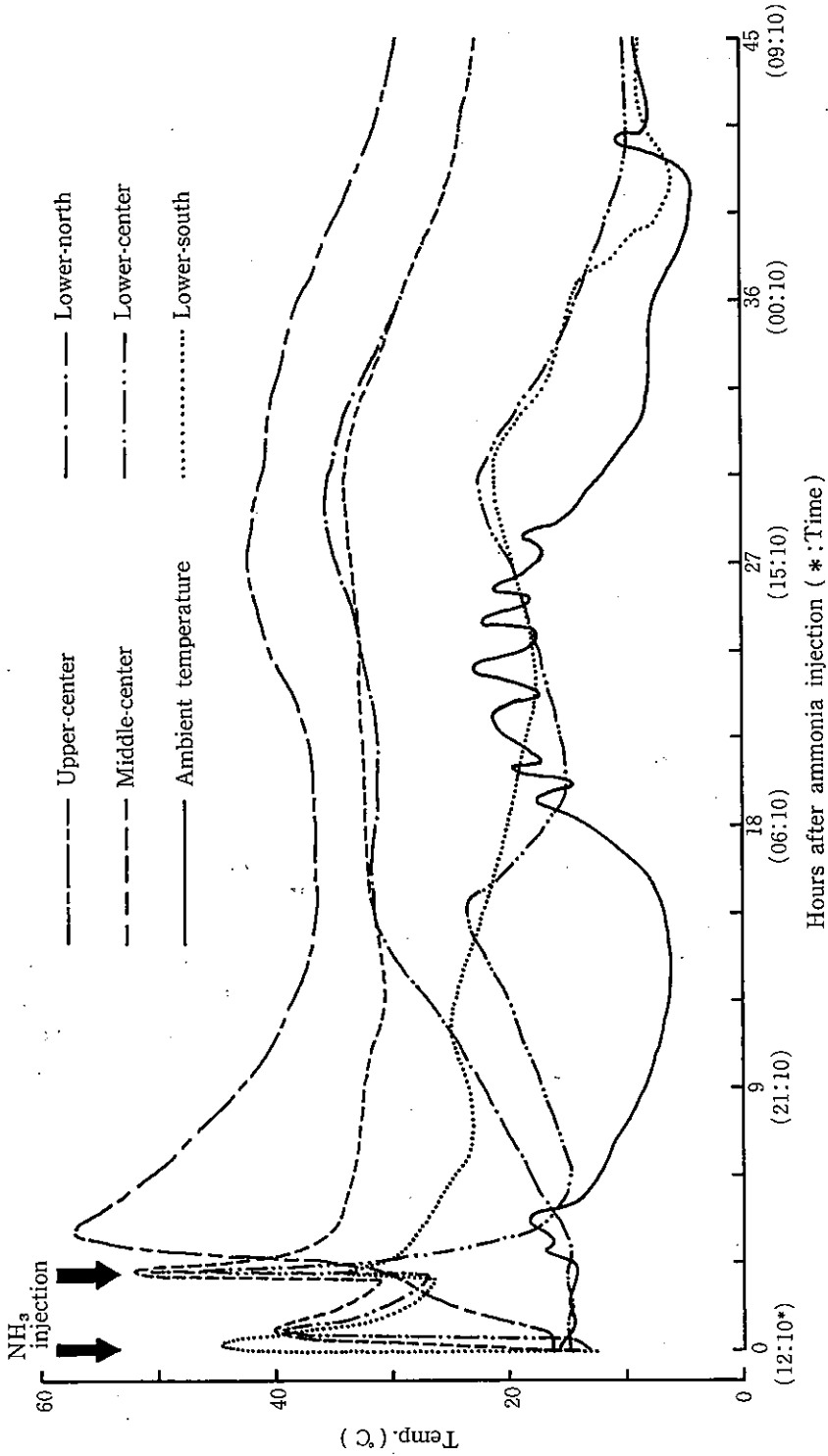


Fig. 1. Temperature trends in wheat straw stack treated with anhydrous ammonia.

Table 1. Nitrogen distribution of wheat straw treated with anhydrous ammonia (Experiments 1 and 2. % of DM).

Experiment	Treatment	Fraction ¹⁾							
		TN	PN	AN	AmN	No	NDF-N	ADF-N	
I	Treated	Top-brown ²⁾	2.55	.82	.87	.30	.57	.48	.27
		Inner ³⁾	2.52	.76	.98	.30	.48	.39	.25
		Bottom ⁴⁾	2.57	.75	.83	.37	.63	.37	.25
	Untreated	.89	.53	.02	.10	.23	.25	.19	
II	Treated	1.58	.67	.66	.16	.09	.35	.30	
	Untreated	.61	.47	.07	.07	tr.	.25	.22	

1) TN=Total N, PN=Protein N, AN=Ammonia N, AmN=Amide N, No=N other than TN, PN, AN and AmN, NDF-N=NDF bound N, ADF-N=ADF bound N.

2) Dark brown straw of top bales in the stack.

3) Straw of inner bales.

4) Straw of bottom bales.

結果および考察

実験2におけるスタック内の温度変化をアンモニアの注入時から45時間後までみたのが図1である。2回に分けて注入を行い、1回目49kg、2回目56kgのアンモニア注入に要した正味時間は各々24分、18分であった。注入と同時にアンモニアと水分との反応熱によりスタック内温度は急上昇した。最高温度は1回目の注入時には39~45°C、2回目には34~57°Cに達した。また注入の終了と同時に速やかに温度は低下し、6時間以降では上段部が高く、下段部が低い温度推移を示した。さらに注入後80時間程経過すると、スタック内温度は外気温より10°C程高いにすぎず、その後は外気温とほぼ同じ傾向を示した。密封期間中の平均外気温は実験1で14.9°C、実験2で10.6°Cであった。

実験1、2ともにアンモニア処理によりN分画の各成分に増加がみられた(表1)。処理麦稈のTN含量は実験1の内部で1.63%、実験2で0.97%増加した。増加N量の内ANが両実験で60%を占め、AmNが実験1で12%、実験2で9%を占めた。KERNANら⁶⁾は数多くの成績をまとめアンモニア処理小麦稈の場合には燕麦や大麦稈より増加N量が大きく平均1.3% (CPで8.1%)であったとし、SOLAIMANら⁷⁾は処理小麦稈の増加N量が0.95%でその内の43.4%をアンモニアNが占めたと報告している。実験1、2を通じてアンモニア処理によりPNが0.2~0.3%、NDF-Nが0.1~0.2%、ADF-Nが0.1%弱増加した。PN

の増加は蛋白態Nの増加によるものではなく繊維性物質とアンモニアとが密接に結合しリグニン化N化合物が生じ⁸⁾、トリクロロ酢酸不溶性Nとして増加したと考えられる。実験1の上段褐色部においてはPN・NDF-N・ADF-Nの増加量が他の部位より多い傾向を示した。材料水分とアンモニア処理効果とに高い相関がある⁷⁾ことから、他の部位よりスタック内の結露水を吸収しやすい上段梱包ではアンモニアとの強度の反応があったものと考えられる。アンモニア処理の際には注入したアンモニアのN回収率を高めることが要求されるが、密封期間中に乾物損失がなかったものとしてN回収率を算出すると、実験1で約60%、実験2で37%となった。KERNANらの結果⁶⁾から回収率を求めると31.5%となり、SOLAIMANら⁷⁾は34.9%の回収率であったと報告している。このことから実験1の回収率はかなり高いものであった。実験2では加水時において梱包に吸収されなかった水がスタック下の溝に溜ったため、注入したアンモニアの一部がこの水に吸収され回収率が低下したものと思われる。実験1のスタックの3部位間のN分画に大差がなかったことから、液状注入したアンモニアは大規模スタックであっても、スタック内に万遍なく気化拡散したものと考えられる。

実験1のアンモニア処理麦稈と、実験2の動物試験に供試した飼料の化学組成を表2、3に示した。アンモニア処理により粗蛋白含量は増加し、実験1で約16%、実験2で9.9%となった。アンモニア処理によりヘミセルロースの一部がND溶液に可溶化するとい

Table 2. Chemical composition of wheat straw treated with anhydrous ammonia (Experiment 1. % of DM).

Treatment	Moisture	Crude protein	Crude fat	NFE	Crude fiber	NDF	ADF	Hemicellulose ¹⁾	Crude ash	Energy ²⁾
Treated Top-brown ³⁾	16.1	15.9	1.3	36.9	36.3	62.7	45.3	17.4	9.6	4.41
Inner ³⁾	21.8	15.7	1.4	36.5	36.3	66.7	41.9	24.8	10.1	4.36
Bottom ³⁾	21.9	16.1	1.4	37.9	34.6	65.8	43.0	22.8	9.9	4.31
Untreated	—	5.6	1.4	47.1	36.2	72.4	44.7	27.6	9.8	4.33

1) Hemicellulose = NDF - ADF.

2) kcal per gram.

3) See table 1.

Table 3. Chemical composition of diets offered in feeding trial of sheep (Experiment 2. % of DM).

Diet	Moisture	Crude protein	Crude fat	NFE	Crude fiber	NDF	ADF	Hemicellulose ¹⁾	Crude ash	Energy ²⁾
Treated straw	16.0	9.9	1.5	40.0	38.7	63.7	50.1	13.6	9.9	4.30
Untreated straw	14.8	3.8	1.6	46.6	38.2	65.0	50.4	14.6	9.8	4.48
Hay	17.1	14.1	3.4	42.3	30.7	54.1	40.3	13.8	9.5	4.46

1) Hemicellulose = NDF - ADF.

2) kcal per gram.

われており^{8, 9)}, 実験1の上段褐色部では NDF・ヘミセルロースの減少量が他の部位より大きかった。このことは前述の(表1)上段における強度のアンモニア処理効果を裏付けている。実験2では NDF・ヘミセルロースの減少量は実験1に比べ小さなものであった。これは実験2では注入したアンモニアの損失が大きかったことに加え、密封期間中の外気温の低さが影響したと思われる。特に、アンモニア注入時から2週間までの平均外気温は実験1で 17.2°C あったのに対し、実験2では 9.1°C に過ぎなかった。アンモニア処理は処理温度が低いとその効果も弱まるとされている³⁾。

単一給与により予め求めた乾燥の消化率を用いて麦稈の消化率推定を試みたところ、無処理麦稈の一部の成分において負値を示したため、麦稈と乾草の混合飼料としての消化率を表4に示した。処理区の消化率は

どの成分においても無処理区より増加した。すなわち、乾物・粗蛋白・NDF 消化率は約 1.4 倍に、有機物・粗繊維・ADF・エネルギー消化率は約 1.3 倍に処理区では高くなった。DRYDEN と KEMPTON¹⁰⁾ はアルファルファ乾草を摂取している羊における大麦稈の消化率をナイロンバッグ法により求め、処理麦稈の消化率が乾物で 1.23 倍、細胞壁構成有機物が 1.29 倍に増加したと報告している。また小麦稈・乾草・綿実粕の混合飼料を供試飼料とした AL-RABBAT と HEANEY の実験¹¹⁾ では、アンモニア処理麦稈混合区のエネルギー・粗蛋白・セルロース・ADF 消化率は無処理麦稈混合区よりも有意に高かったという。アンモニア処理は麦稈のセルロース¹²⁾・ヘミセルロース¹³⁾の消化性増大をもたらすと同時に、植物細胞組織の破壊に伴うルーメン内微生物による消化性増大をもたらし¹⁴⁾、これらの相乗効果としてアンモニア処理麦稈の消化性が

Table 4. Digestibilities of diets mixed with wheat straw and hay (Experiment 2. %).

Treatment	Dry matter	Organic matter	Crude protein	Crude fat	NFE	Crude fiber	NDF	ADF	Energy
Treated ¹⁾	51.9	54.2	51.3	34.7	48.9	62.7	58.4	58.5	49.4
Untreated ¹⁾	38.3	40.9	36.3	20.1	37.6	47.8	41.2	45.8	37.5

1) Treated or untreated straw was offered as a mixture with hay to equalize them based on the dry weight.

Table 5. Nitrogen retention of diets mixed with wheat straw and hay (Experiment 2. g/day).

Treatment	N intake	Faecal N	Urinary N	N digested	N retention
Treated ¹⁾	19.73	9.59	9.79	10.14	.35
Untreated ¹⁾	14.60	9.31	7.39	5.29	-2.10

1) See table 4.

Table 6. Effect of wheat straw ammoniation on dry matter intake by sheep (Experiment 2. g/day).

Diet	Sheep ¹⁾	
	Accustomed	Unaccustomed
Treated straw	697	474
Untreated straw	29	32
Hay	667	556

1) Sheep accustomed or unaccustomed to wheat straw.

改善されるといわれている¹²⁾。

N 出納試験の結果を表5に示した。無処理区の摂取 N 量は処理区より少なかったが、糞中 N 排泄量は摂取 N 量の64%を占め処理区より15%多かった。尿中 N 排泄量は両区とも摂取 N 量の50%であった。その結果無処理区の N 蓄積量は低くなり-2.10 g/日であったのに対し、処理区では 0.35 g/日となった。上述の AL-RABBAT と HEANEY の報告¹¹⁾によると、無処理麦稈混合区の N 蓄積量は負を示したが、両区には有意差はみられなかったという。メン羊に大麦稈を自由採食させた実験¹⁰⁾では、アンモニア処理麦稈区・無処理麦稈区ともに N 蓄積量は負となったが、処理区では N の損失は有意に少なかったと報告している。

採食性試験により得られた麦稈摂取量を表6に示した。麦稈馴致群・未馴致群ともに処理麦稈を多く摂取した。馴致群は未馴致群よりも処理麦稈を50%多く摂取し、麦稈に対する馴致の有無による影響が表われた。濃厚飼料を体重の1%として制限給与し、麦稈を自由採食させた去勢牛の実験ではアンモニア処理麦稈を無処理麦稈より有意に多く摂取した¹⁵⁾という。

大量の小麦稈梱包を一つのスタックにまとめ、短時間の内にアンモニアを液状注入してもアンモニアはスタック内に万遍なく気化拡散し、できあがったアンモニア処理麦稈は消化性・N蓄積・採食性の点で改善が

みられた。このことから、処理麦稈は牧草その他の常用粗飼料の一部を代替することが可能となり、粗飼料不足の農家では有効な飼料となると同時に、未利用資源の有効利用方法として麦稈のアンモニア処理は有益な手段と考えられる。

文 献

- 1) 北海道農務部, 北海道農業の動向, 昭和 58 年度版, 104-107. 1984.
- 2) 森本 宏, 飼料学, 第7版, 479, 養賢堂, 東京. 1977.
- 3) SUNDSTØL, F., E. COXWORTH and D. N. MOWAT, World Animal Review, 26: 13-21. 1978.
- 4) 森本 宏, 動物栄養試験法, 第1版, 319. 養賢堂, 東京. 1971.
- 5) WANG, P. Y., H. I. BOLKER and C. B. PURVES, Can. J. Chem., 42: 2434-2439. 1964.
- 6) KERNAN, J. A., W. L. CROWLE, D. T. SPURR and E. C. COXWORTH, Can. J. Anim. Sci., 59: 511-517. 1979.
- 7) SOLAIMAN, S. G., G. W. HORTON and F. N. OWENS, J. Anim. Sci., 49: 802-808. 1979.
- 8) ITOH, H., Y. TERASHIMA, N. TOHRAI and Y. MATSUI, Jap. J. Zootech. Sci., 46: 87-93. 1975.
- 9) 箭原信男, 沼川武男, 日畜会報, 49: 648-652. 1978.
- 10) DRYDEN, G. McL. and T. J. KEMPTON, Anim. Feed Sci. Technol., 10: 65-75. 1983/84.
- 11) AL-RABBAT, M. F. and D. P. HEANEY, Can. J. Anim. Sci., 58: 443-451. 1978.

- 12) HORTON, G. M. J., *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 1059-1062. 1981.
- 13) ITOH, H., Y. TERASHIMA and N. TOHRAI, *Jap. J. Zootech. Sci.*, 50: 54-61. 1979.
- 14) ITOH, H., Y. TERASHIMA and A. HAYASHIZAKI, *Jap. J. Zootech. Sci.*, 52: 671-679. 1981.
- 15) HORTON, G. M. J. and G. M. STEACY, J. *Anim. Sci.*, 48: 1239-1249. 1979.

Summary

One hundred and fifty four rectangular bales (Ex. 1) and 227 bales (Ex. 2) of wheat straw were used. After water was added to them, they were treated with about 3% (Ex. 1) and 3.2% (Ex. 2) anhydrous ammonia, based on the dry weight of the straw. Two stacks of the straw were stored in airtight at ambient temperature for a month. Three straw samples, dark brown from top bales, inner bales and bottom bales from Ex. 1 stack treated with ammonia, were analyzed for nitrogen distribution and chemical composition. Temperature trends in Ex. 2 stack were measured during storage. Treated or untreated straw as a mixture with hay to equalize them based on the dry weight were offered to sheep for determining digestibilities and nitrogen retention of the diet (Ex. 2). To investigate effect of ammoniation on the straw intake, treated and untreated straw were offered to sheep accustomed and unaccustomed to straw in restricted feeding hay (Ex. 2). As soon as

ammonia was injected, temperatures in the stack rose remarkably to max. 57°C by reaction of ammonia with water. Then, eighty hours after injecting they were only 10°C higher than ambient temperature. In ammoniated straw, total-N was increased by 0.97 to 1.63% units, and NDF-N and ADF-N were also increased. Ammonia-N and amide-N accounted for 60% and 9 to 12%, respectively, of the total-N increased. Nitrogen that was retained in the ammoniated straw sample was about 60% (Ex. 1) and 37% (Ex. 2) of the added nitrogen. NDF and hemicellulose decreased in ammoniated straw. Digestibilities of DM, CP and NDF, and those of OM, crude fiber, ADF and energy in the diet mixed with ammoniated straw and hay (Tr-diet) were higher than those in the diet mixed with untreated straw and hay (Co-diet) by 40% and 30%, respectively. N retention in Tr-diet was higher than that in Co-diet. Daily intake of straw was increased in sheep fed with the ammoniated as compared with that of the untreated straw. More ammoniated straw was ingested by sheep when they were accustomed to the straw diet for several days previously. In the large scale stack of wheat straw, anhydrous ammonia was allowed to diffuse throughout the stack, and the nutritive value of the straw was improved uniformly. It is possible to replace some part of roughages with ammoniated wheat straw in ruminant feeding.